

УДК 504.064.36:574.2:574.583(262.5)

Metazoan Microzooplankton in the Crimean Coastal Waters of the Black and Azov Seas in Spring: Composition, Abundance and Spatial Distribution

Sergey A. Seregin* and Elena V. Popova

*A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of the RAS
2 Nakhimov, Sevastopol, 299011, Russia*

Received 03.08.2017, received in revised form 28.11.2017, accepted 27.02.2018, published online 31.01.2019

The study was carried out during the 84th expedition of RV “Professor Vodyanitsky” in the coastal waters of the Black and Azov Seas from 19 to 26 April 2016. The goal of the study was to assess the abundance and species composition of the “spring” micrometazooplankton (MMZP), providing previously unavailable data. A total of 59 samples were collected at 20 stations within the upper 50-m layer of water. The average MMZP abundance in the surface layer of the Black Sea waters was 14.8 ± 5.8 thousand ind. m^{-3} . The greatest number (up to 35 thousand ind. m^{-3}) was observed in the coastal waters of Kalamitsky and Karkinitzky bays and the smallest (1-13 thousand ind. m^{-3}) in the waters of the south coast of Crimea. In the Azov Sea, MMZP abundance was almost one order of magnitude higher and ranged from 52.4 to 198.6 thousand ind. m^{-3} in the surface layer and from 39.0 to 89.0 thousand ind. m^{-3} in the bottom layer. The species composition of the MMZP in the Black Sea waters was characterized by the predominance of the crustacean fraction with copepods as its major part (81.9 and 77.4% of the total abundance, respectively). In the Azov Sea, meroplanktonic larvae of barnacles dominated, constituting over 65%; larvae of polychaetes, bivalve veligers, and rotifers were also abundant. The vertical distribution patterns were determined by the biotope and predominant composition of MMZP. The abundance maxima in the middle and lower layers of the water column in the shallow-water zones were associated with veligers of mollusks while copepods were responsible for the local maxima in different layers of deeper habitats, where they dominated.

Keywords: metazoan microzooplankton, abundance, species composition, spatial distribution, the coastal zone of the Black and Azov Seas.

Citation: Seregin S.A., Popova E.V. Metazoan microzooplankton in the Crimean coastal waters of the Black and Azov Seas in spring: composition, abundance and spatial distribution. J. Sib. Fed. Univ. Biol., 2019, 12(2), 130-146. DOI: 10.17516/1997-1389-0286.

© Siberian Federal University. All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

* Corresponding author E-mail address: serg-seryogin@yandex.ru

Метазойный микрозоопланктон в крымском прибрежье Черного и Азовского морей в весенний период: состав, обилие и пространственное распределение

С.А. Серегин, Е.В. Попова

*Институт морских биологических исследований
им. А.О. Ковалевского РАН
Россия, 299011, Севастополь, пр. Нахимова, 2*

Исследования проведены в прибрежных акваториях Черного и Азовского морей с 19 по 26 апреля 2016 г. Их цель – оценить обилие и видовой состав «весеннего» микрометазоопланктона (ММЗП), сведения о котором отсутствуют. В общей сложности на 20 станциях было собрано 59 проб в верхнем 50-метровом слое воды. Средняя численность ММЗП в поверхностном слое черноморских вод составила 14.8 ± 5.8 тыс. экз. м^{-3} . Максимумы численности (до 35 тыс. экз. м^{-3}) в черноморских водах наблюдались в прибрежье Каркинитского и Каламитского заливов, минимумы (1-13 тыс. экз. м^{-3}) – в водах южного берега Крыма (ЮБК). В Азовском море численность была почти на порядок выше и варьировала от 52.4 до 198.6 тыс. экз. м^{-3} на поверхности и от 39.0 до 89.0 тыс. экз. м^{-3} в придонном слое. Видовой состав ММЗП в черноморских акваториях характеризовался преобладанием рачковой фракции и копепод как ее основы, составлявших соответственно 81.9 и 77.4 % от общей численности. В Азовском море преобладали меропланктонные личинки усоногих раков (более 65 %); массовыми были также личинки полихет, велигеры двустворчатых моллюсков и коловратки. Характер вертикального распределения зависел от биотопа и преимущественного состава микрометазоопланктона: велигеры моллюсков определяли максимумы численности в средних и нижних слоях водного столба мелководных зон; в более глубоких местообитаниях преобладали копеподы, определявшие локальные максимумы в различных слоях.

Ключевые слова: метазойный микрозоопланктон, численность, видовой состав, пространственное распределение, прибрежье Черного и Азовского морей.

Введение

Метазойный микрозоопланктон (ММЗП, микрометазоопланктон), состоящий преимущественно из науплиусов копепод, – один из ключевых компонентов пелагиали моря, играющий существенную роль в общем балансе вещества и энергии экосистемы, осуществляющий «передаточную» функцию от «классических» к микробным пищевым

сетям (Roff et al., 1995; Almeda et al., 2011) и жизненно необходимый молоди рыб в ранний период их развития: наличие высокой концентрации науплиальных стадий копепод является решающим фактором для выживания личинок рыб из пелагической икры (Климова, Вдодович, 2011). Сборы зоопланктонных проб при помощи стандартных планктонных сетей не дают корректного представления о

ММЗП, т.к. ячея используемых сит составляет 100-150 мкм и не задерживает подавляющую часть этой группы планктонных организмов, численно превосходящую собственно мезозоопланктон в несколько раз. Современные данные с использованием батометрических проб о количественном развитии и видовом составе ММЗП в прибрежных акваториях Крыма относятся к летнему периоду (Серегин, Попова, 2012а, б; 2015). В целом они свидетельствуют, что после угнетенного состояния всего зоопланктона и ММЗП в том числе в 1990-е гг., вызванного экспансией в Черное море хищного гребневика *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865, к настоящему времени обилие метазойного микрозоопланктона достигло уровня 1980-х гг. в «домнемиопсисный» период (Серегин, Попова, 2016а). Это способствовало не только увеличению численности и выживанию личинок рыб, но и постепенно восстановлению их видовой структуры и в шельфовой зоне моря (Климова и др., 2017), и над большими глубинами (Мельников и др., 2015). Отчасти это произошло в связи с натурализацией в черноморских водах другого вселенца – копеподы *Oithona davisae* Ferrari and Orsi, 1984, занявшего экологическую нишу ранее массового, а ныне почти исчезнувшего вида копепод *Oithona nana* Giesbrecht, 1893. Новый вид проник также в Азовское море (Selifonova, 2011; Свистунова, 2013), что привело к заметному изменению в структуре его зоопланктона. В период с конца августа по октябрь численность *O. davisae* в планктоне верхнего слоя черноморских вод может достигать 70-80 и даже более 90 % общего обилия мезозоопланктона (Selifonova, 2011; Mihneva, Stefanova, 2013; Altukhov et al., 2014) и его микрометазойной фракции (Серегин, Попова, 2016а). Однако в апреле–мае вид или отсутствовал в зоопланктонных пробах, или встречался единично (Mihneva, Stefanova,

2013; Altukhov et al., 2014). Общий уровень обилия ММЗП в весенний период приведен лишь для устья Севастопольской бухты и ближайшего к ней побережья Севастополя (Серегин, Попова, 2012а). Для остальных крымских акваторий данные о количественном и качественном составе ММЗП в весенний период отсутствуют. Настоящая статья призвана восполнить этот пробел: она посвящена исследованию обилия и видового состава метазойного микрозоопланктона верхнего слоя как черноморских вод от м. Тарханкут до Керченского пролива, так и юго-западных акваторий Азовского моря.

Материалы и методы

В 84-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» с 19 по 26 апреля 2016 г. было собрано 59 планктонных проб на 20 станциях в пределах верхнего 50-метрового слоя вод. Исследованиями были охвачены акватории в 12-мильной зоне черноморских вод вокруг Крымского п-ва от Каркинитского залива и м. Тарханкут на западе до прикерченской зоны на востоке, а также в Азовском море – в районе Казантипского залива, прикерченской зоне и в открытых водах западной части моря (рис. 1). Пробы воды для учета численности ММЗП объемом 4-6 л отбирали 10-литровыми батометрами, как отдельными, так и в кассете CTD зонда Mark-III Neil Brown (США). Полученные пробы концентрировали при помощи устройства для обратной фильтрации микропланктона (Sorokin et al., 1985), оборудованного планктонным ситом с размером пор 10 мкм. Метод позволяет организмам микропланктона оставаться при фильтрации в объеме жидкости и избегать повреждения их внешних покровов. Полученный после фильтрации концентрат фиксировали 40%-м раствором формальдегида до конечной концентрации в пробе 4 % и хранили в холодильнике.

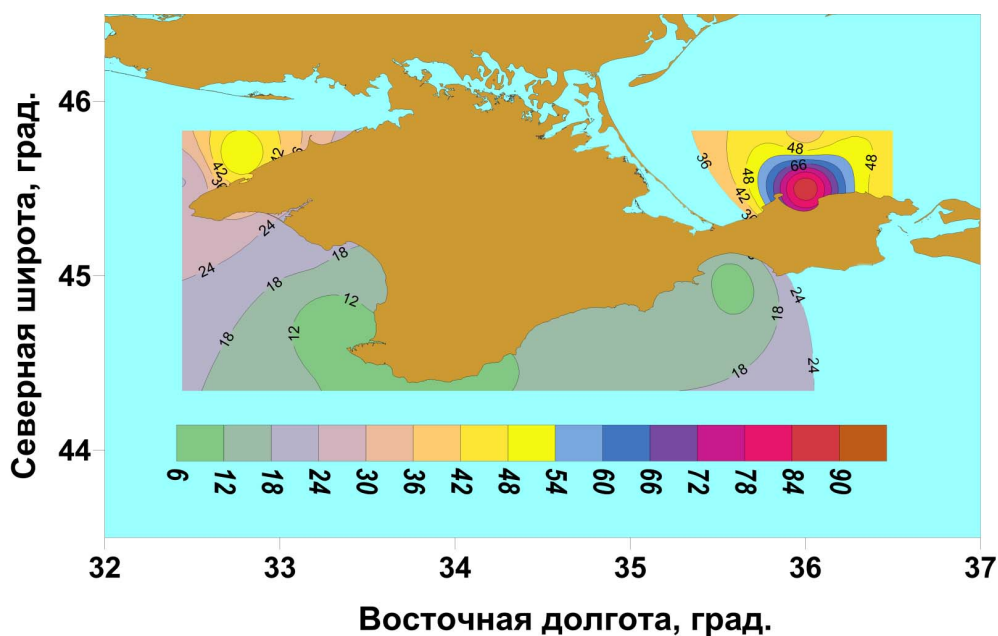
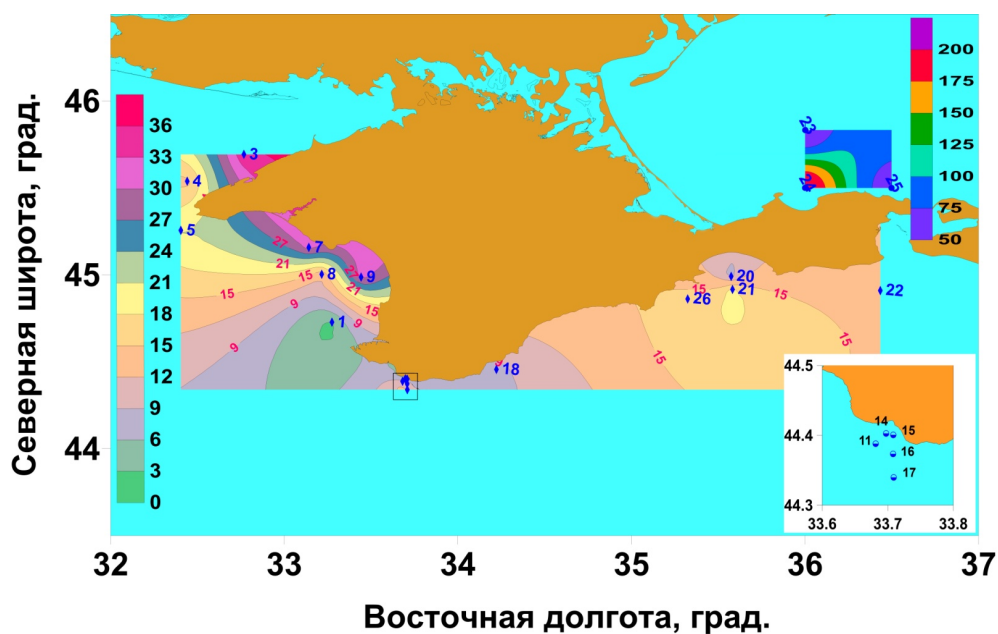


Рис. 1. Расположение станций 84-й экспедиции НИС «Профессор Водяницкий» и пространственное распределение общей численности метазойного микрозоопланктона (тыс. экз. м^{-3}) в поверхностном слое (вверху) и на глубине ~10 м (внизу) в черноморских и азовоморских водах Крыма в апреле 2016 г. Во врезке – расположение станций в водах южного берега Крыма в районе бухты Ласпи

Fig. 1. Location of the stations during the 84th expedition of R/V “Professor Vodyanitsky” and the spatial distribution of the total metazoan microzooplankton abundance (thousand individuals m^{-3}) in the surface layer (top) and at a depth of ~10 m (bottom) in the Black Sea and Azov Sea waters of Crimea in April 2016. Inset – the location of stations in the waters of the southern coast of Crimea at Laspi Bay

нике. Обработка осуществлена на берегу в стационарных условиях. Количественный и систематический анализ всех проб проводили тотально в камере Богорова под микроскопом МБС-9 при увеличении 4×8, руководствуясь (ICES Zooplankton Methodology manual, 2000). К фракции метазойного микрозоопланктона по традиции отечественных исследователей мы относили организмы размером до 500 мкм (Заика и др., 1976; Ковалев, 1980). Копепод определяли до вида вплоть до науплиальных стадий – по (Определитель..., 1969). Науплиусов *Acartia* относили к виду *A. clausi* Giesbrecht, 1889. Хотя последние и науплиусы *Acartia tonsa* Dana, 1849 при стандартной камеральной обработке достоверно не различаются (Сажина, 1985), известно, что *A. tonsa* является stenothermным тепловодным видом, приуроченным к прибрежным акваториям (Paffenhöfer, Stearns, 1988; Tester, Turner, 1991). В Черном море она развивается при температурах выше 15 °C в мелководных бухтах, где вода прогревается до самого дна (Gubanova, 2000) и в прибрежных акваториях присутствует в планктоне летом и осенью (Заремба, 2017). Таким образом, в исследуемый сезон единственным представителем копепод рода *Acartia* во фракции ММЗП являлась *A. clausi*.

Для построения графиков использовали программу SigmaPlot 11.0, аппарат статистических расчетов которой применяли также для вычисления средних значений и стандартных отклонений. Построение карт пространственного распределения численности ММЗП выполнено в программе Golden Software Surfer 9, являющейся отраслевым стандартом построения контурных карт в изолиниях.

Результаты

Видовой состав метазойного микрозоопланктона в изучаемый период характеризовался относительной бедностью и ко-

личественно был представлен в основном рачковой фракцией ММЗП. В поверхностном слое ее доля была максимальна в прибрежье Севастополя и водах южного берега Крыма (ЮБК) – в среднем около 97 % от общей численности. По мере убывания следовали акватории Каламитского (88.5 %) и Каркинитского (75.3 %) заливов, юго-восточного прибрежья от Карадага до мыса Опук (74.7 %). Наименьшее содержание организмов рачковой фракции наблюдалось в Азовском море – 64.0 %. В рачковом планктоне чаще всего встречались науплиусы копепод рода *Acartia* (94.7 % встречаемости на всех станциях и горизонтах), *Paracalanus parvus* (Claus, 1863) (87.7 %), *Oithona similis* Claus, 1866 (86.0 %), *Pseudocalanus elongatus* (Boeck, 1865) (61.4 %). Науплиусы усоногих раков (Cirripedia) встречались довольно часто (45.6 %) и преимущественно на мелководных станциях Каркинитского залива, прибрежья Евпатории, Феодосии и прикерченского района. Максимальной численности они достигали в Азовском море. Реже, в гораздо меньших количествах и только в верхнем 10-метровом слое отмечены науплиусы *Centropages ponticus* Karavaev, 1894 (35.1 % встречаемости), причем в наибольших количествах – в районе Карадага и в открытых водах Азовского моря. В единичных количествах встречены науплиусы *Calanus euxinus* Hulsemann, 1991 (10.5 %), из клadoцер – особи *Pleopis polyphemoides* (Leuckart, 1859) и всего однажды – науплиус *Pontella mediterranea* (Claus, 1863). Полностью отсутствовали особи копеподы-вселенца *Oithona davisae*, который в последние годы в теплый период составляет основную часть рачкового планктона в прибрежье Черного моря. Также отсутствовали представители копепод отряда Harpacticoida, теплолюбивые клadoцеры – *Pseudeuadne tergestina* (Claus, 1877), *Penilia avirostris* Dana, 1849.

Наибольшее видовое богатство веслоногих рачков (они определялись до вида) наблюдалось в юго-восточном побережье Черного моря от Карадага до м. Опук. В среднем по станциям насчитывалось 6 видов с максимумом до 8 видов (станция 21; на траверзе Феодосийского залива). Немногим меньшее количество видов копепоид обнаружено в водах западного и южного побережья (5-6 видов). В азовоморских водах в среднем встречалось 4 вида копепоид, обычно меньше; максимум наблюдался в удаленных от берега водах – 6 видов.

В неграчковом ММЗП по встречаемости доминировали велигеры двустворчатых моллюсков (87.7 %) и личинки оболочника *Oikopleura dioica* Fol, 1872 (63.2 %); последние встречались только в Черном море. Относительно редки были коловратки (22.8 %), личинки полихет (22.8 %) и велигеры брюхоногих моллюсков (17.5 %), причем в черноморских водах численность всех трех групп была низкой, а своих максимумов они достигали в Азовском море: до 7.0-14.0, 11.0-18.0 и 1.7-2.3 тыс. экз. м⁻³ соответственно. Обилие основных групп и видов ММЗП в поверхностном слое исследованных акваторий приведено в табл. 1.

Рассматривая пространственное распределение, можно отметить, что средняя по черноморским водам численность ММЗП в поверхностном слое вод составляла 14.8 ± 5.8 тыс. экз. м⁻³. Однако распределение по акваториям характеризовалось неоднородностью. Максимумы (до 35 тыс. экз. м⁻³ в поверхностном слое и 56 тыс. экз. м⁻³ в придонных слоях) наблюдались в побережье Каркинитского и Каламитского заливов, минимумы (1.0-13.0 тыс. экз. м⁻³) – в водах ЮБК. В юго-восточном побережье концентрации ММЗП составляли 8.0-16.0 тыс. экз. м⁻³ в

поверхностном слое (рис. 1) и в среднем 8.9 ± 1.8 тыс. экз. м⁻³ – в придонных слоях.

Общая численность ММЗП в Азовском море была почти на порядок выше, чем в Черном море, и варьировала от 52.4 до 198.6 (в среднем 105.7 ± 80.8 тыс. экз. м⁻³) на поверхности и от 39.0 до 89.0 тыс. экз. м⁻³ (в среднем, 57.5 ± 27.3 тыс. экз. м⁻³) в придонном слое на глубине 8.5-10.5 м. Максимальные величины обилия как на поверхности, так и в придонном слое наблюдались на траверзе Казантипского залива, минимальные – в центре западной части моря (рис. 1).

Вертикальное распределение ММЗП варьировало в зависимости от общей глубины на станциях, гидрологической структуры водного столба и видового состава зоопланктона. Поскольку эти детерминанты отличались по разным акваториям, рассмотрим последние отдельно.

Вертикальное распределение температуры и солености в столбе воды на мелководных станциях западного побережья (глубины 24-40 м) характеризовалось выравниваемостью в пределах 8-15-метрового верхнего перемешанного слоя (ВПС). Ниже ВПС значения температуры и солености резко уменьшались. Максимумы общей численности ММЗП в Каркинитском заливе (29.2-56.0 тыс. экз. м⁻³) наблюдались в нижней части ВПС (рис. 2, ст. 3-4). В побережье Евпатории максимум численности (31 тыс. экз. м⁻³) приходился на поверхностный слой и определялся обилием *Acartia clausi*. Велигеры двустворчатых моллюсков были наиболее многочисленны на нижнем из исследованных горизонтов 24-метрового водного столба (рис. 2, ст. 7). К общим закономерностям распределения разных групп ММЗП можно отнести следующие: в верхних слоях воды (0 и 5 м) доминировал рачковый планктон (69-81 %), представленный, в основном, копеподами; на средних и

Таблица 1. Численность основных групп и видов метазойного микрозоопланктона в поверхностном слое черноморских и азовоморских вод Крыма в апреле 2016 г.

Table 1. The abundance of the main groups and species of metazoan microzooplankton in the surface layer of the Black Sea and Azov Sea waters of Crimea in April 2016

Район	Стация	Общая численность, тыс. экз. м ⁻³	Рачковый планктон, тыс. экз. м ⁻³							Нерачковый планктон, тыс. экз. м ⁻³						
			Acartia spp.	P. parvus	P. elongatus	O. similis	C. ponticus	Cirripedia	Вес рачковый	%	Oikopleura	Bivalvia	Gastropoda	Rotifera	Polychaeta	Вес нерачковый
Севастополь	1	2.4	1.6	0.6	—	0.2	—	—	2.4	100	—	—	—	—	—	0
	3	35.4	17.8	4.2	0.2	1.0	—	1.4	24.6	69.4	1.0	8.4	—	1.2	0.2	10.8
	4	14.0	4.4	5.1	—	0.9	0.2	—	10.7	76.4	1.1	2.2	—	—	—	3.3
м. Тарханкут	5	21.2	6.8	8.2	0.2	1.6	0.2	—	17.0	80.2	1.2	3.0	—	—	—	4.2
	7	31.2	13.8	7.8	1.0	1.8	0.4	0.2	25.4	81.4	0.2	4.4	1.0	0.2	—	5.8
	8	12.6	4.4	4.6	—	2.6	—	—	11.8	93.6	0.4	0.4	—	—	—	0.8
Каламитский зал.	9	31.2	17.8	7.4	0.4	1.0	—	1.6	28.2	90.4	1.6	1.2	—	0.2	—	3.0
	11	11.0	3.8	2.4	1.2	2.8	0.2	—	10.4	94.5	0.2	0.4	—	—	—	0.6
	14	1.6	—	0.2	—	—	—	—	0.2	12.5	1.4	—	—	—	—	1.4
б. Ласпи	15	1.0	—	0.8	—	—	—	—	0.8	75.0	—	0.3	—	—	—	0.3
	16	13.4	4.6	1.8	0.8	5.4	—	—	12.6	94.0	0.2	0.6	—	—	—	0.8
	17	11.8	4.8	2.6	0.4	3.4	0.2	0.4	11.8	100	—	—	—	—	—	0
Ялта	18	8.2	3.3	2.8	0.2	1.8	0.3	—	8.3	100	—	—	—	—	—	0
	20	8.2	3.4	1.0	—	1.8	0.2	—	6.4	78.0	1.4	—	—	0.2	0.2	1.8
	21	19.0	4.0	5.8	—	1.8	0.2	0.6	12.8	67.4	1.2	4.8	0.2	—	—	6.2
м. Опук	22	14.4	1.0	1.4	—	0.2	0.4	5.8	8.8	61.1	0.2	4.4	—	1.0	—	5.6
	23	52.4	2.8	0.2	—	—	0.8	20.8	24.8	47.3	—	2.2	—	7.0	18.4	27.6
	24	198.6	2.6	—	—	—	0.2	147.2	150.8	74.1	—	17.8	0.2	14.6	15.2	47.8
Азовское море	25	66.0	0.3	—	—	—	—	46.3	46.7	70.7	—	13.7	2.3	0.7	2.7	19.3
	26	15.8	5.8	5.4	0.2	0.6	1.4	1.2	14.6	92.4	1.2	—	—	—	—	1.2

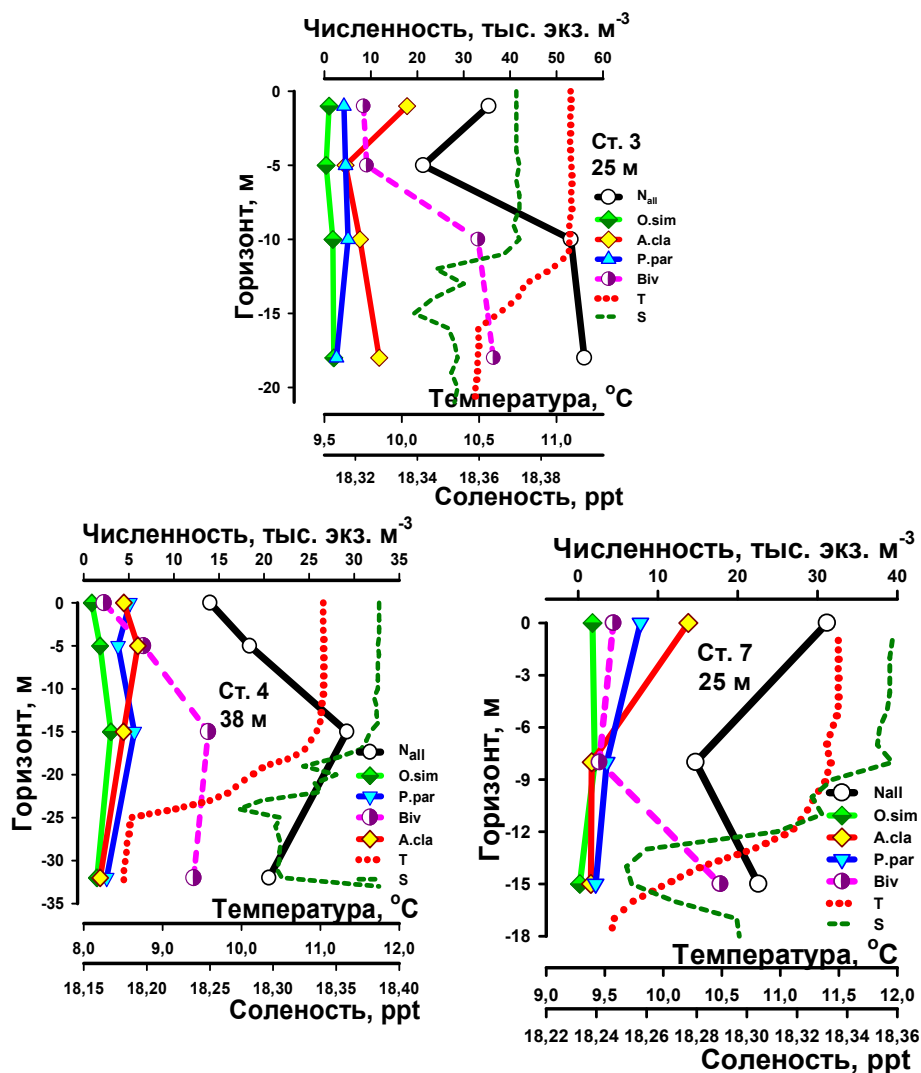


Рис. 2. Вертикальное распределение температуры воды (Т), солёности (S) и численности разных групп и видов ММЗП в водах западного побережья Крыма: Каркинитского (ст. 3 и 4) и Каламитского (ст. 7) заливов. N_{all} – общая численность ММЗП; $O.sim$ – численность *Oithona similis*; $A.cla$ – численность *Acartia clausi*; $P.par$ – численность *Paracalanus parvus*; Biv – численность велигеров *Bivalvia*

Fig. 2. The vertical distribution of water temperature (T) and salinity (S) and the abundance of different MMZP groups and species in the waters of the western coast of Crimea: Karkinitzky (st. 3 and 4) and Kalamitsky (st. 7) bays. N_{all} – the total abundance of MMZP; $O.sim$ – abundance of *Oithona similis*; $A.cla$ – abundance of *Acartia clausi*; $P.par$ – abundance of *Paracalanus parvus*; Biv – abundance of *Bivalvia* veligers

нижних горизонтах преобладали организмы неарктового планктона, прежде всего, велигеры двустворчатых моллюсков. Из особенностей вертикального распределения отдельных видов копепоид следует отметить следующие: численность акарций была всегда более высокой в самых верхних слоях воды, а

для паракалянуса и ойтены (*O. similis*) характерно наличие максимумов в более глубоких слоях водного столба.

Термохалинная структура вод в Севастопольском и южнобережном побережье заметно отличалась от структуры вод западного берега. При общей глубине на станциях

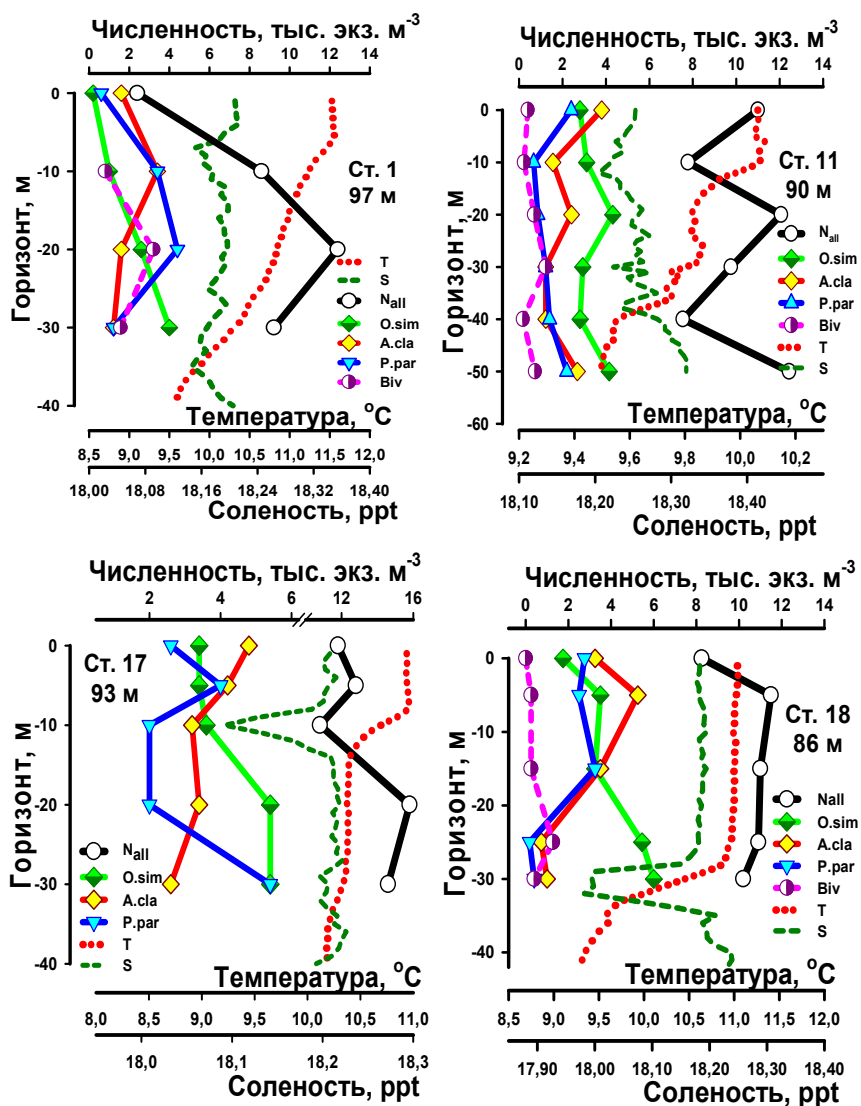


Рис. 3. Вертикальное распределение температуры воды (Т), солености (S) и численности разных групп и видов ММЗП в водах севастопольского побережья (ст. 1) и южного берега Крыма (ст. 11, 17 и 18). Обозначения см. рис. 2

Fig. 3. The vertical distribution of water temperature (T) and salinity (S) and the abundance of different MMZP groups and species in the waters of the Sevastopol coast (st. 1) and the southern coast of Crimea (st. 11, 17 and 18). For explanation of symbols, see Fig. 2

90-97 м на траверзах Севастопольской бухты и бухты Ласпи (ст. 1, 11, 17) воды верхнего 50-метрового слоя характеризовались выраженной слоистостью. На глубине 7-12 м наблюдался подповерхностный слой слегка распресненной воды (рис. 3, ст. 1, 11, 17). В прибрежье Ялты (ст. 18) верхний слой вод

был однородным, но в отличие от западного прибрежья гораздо «мощнее» и распространялся от поверхности до глубины 30 м. Основные максимумы общей численности ММЗП в этих водах (11.5-15.0 тыс. экз. м⁻³) приходились на 20-30 и даже 50-метровую глубину. В отличие от западного прибре-

жъя они определялись не личинками моллюсков, а копеподами: чаще всего *O. similis*, *P. parvus*, *P. elongatus*. В поверхностном слое доминировали копеподы рода *Acartia*. В районе Ялты максимум общей численности приходился на подповерхностный слой 5 м (рис. 3, ст. 18) и определялся копеподами рода *Acartia* и *O. similis*. Глубже численность незначительно снижалась и оставалась на

уровне 10-11 тыс. экз. м⁻³. Здесь преобладали *O. similis* и *P. elongatus*.

В юго-восточном побережье (рис. 4) вертикальным зондированием были охвачены станции с глубинами от 26 до 51 м. Если по температуре можно было выделить довольно однородный 10-12-метровый верхний слой вод, то соленость по глубине первоначально резко снижалась, а затем демонстрировала ярко вы-

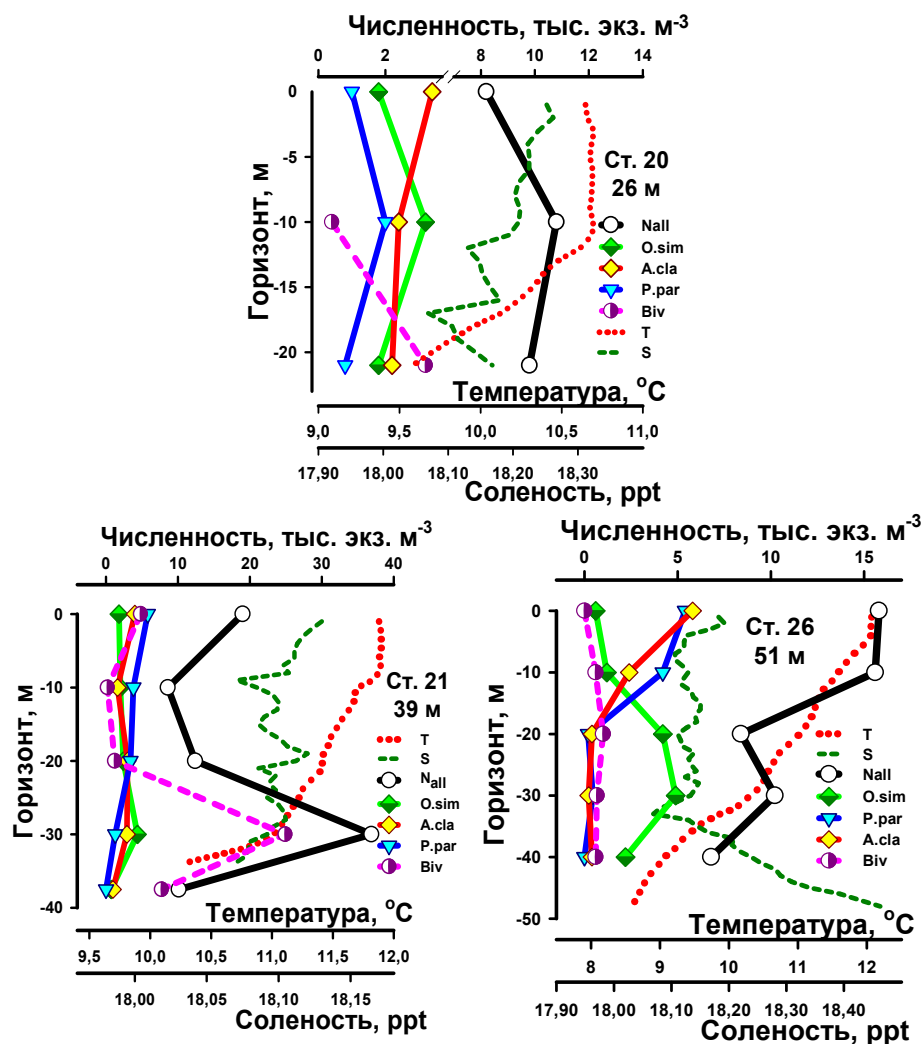


Рис. 4. Вертикальное распределение температуры воды (Т), солености (S) и численности разных групп и видов ММЗП в водах юго-восточного побережья Крыма: Феодосийского залива (ст. 20 и 21) и Карадага (ст. 26). Обозначения см. рис. 2

Fig. 4. The vertical distribution of water temperature (T) and salinity (S) and the abundance of different MMZP groups and species in the waters of the southeastern coast of Crimea: Theodosia Bay (st. 20 and 21) and Karadag (st. 26). For explanation of symbols, see Fig. 2

раженную слоистость распределения. Максимумы общей численности располагались на разных горизонтах и варьировали от 10.8 до 36.9 тыс. экз. м⁻³. Особенности же распределения разных групп и видов микрозоопланктона повторяли ранее отмеченные: личинки моллюсков были многочисленны в придонных слоях мелководных станций, а копеподы тяготели к верхним (*Acartia*, *Paracalanus*) и средним (*O. similis*, *Pseudocalanus*) горизонтам, достигая максимумов на станциях с большими глубинами.

Обсуждение

Для общей оценки обилия ММЗП в крымских водах в весенний период сравним новые данные с ранее полученными. В сопоставимый период 2010–2012 гг. численность ММЗП в поверхностном слое в прибрежье Севастополя весной варьировала от 4.5 до 17.0 тыс. экз. м⁻³ (Серегин, Попова, 2012а). Вновь полученные данные для станций в севастопольских и южнобережных водах немного ниже – с варьированием от 1.0 до 13.4 тыс. экз. м⁻³, – но в целом свидетельствуют о сходном уровне обилия ММЗП весной 2016 г. В этих районах и в летний период наблюдалось невысокое обилие ММЗП. Так, в конце июня 2010 г. численность этой группы зоопланктона в районе Ялты в верхнем 20-метровом слое варьировала от 4 до 9 тыс. экз. м⁻³, а в районе Карадага – от 7.5 до 10 тыс. экз. м⁻³ (Серегин, Попова, 2012б). На разрезе от мыса Херсонес в юго-западном направлении в 2010 г. обилие микрометазоопланктона характеризовалось более высокими значениями: в среднем для ВПС около 18 тыс. экз. м⁻³. Максимальные численности ММЗП наблюдались в районе Евпатории на мористых станциях в слое «термоклина». Средние значения для верхнего перемешанного слоя здесь составляли 24 тыс. экз. м⁻³ с разбросом от 13 до более 32 тыс. экз. м⁻³ (Серегин,

Попова, 2012б). В этот же период (последняя декада июня 2010 г.) в ближайшем прибрежье Севастополя численность микрометазоопланктона составляла 12.3 тыс. экз. м⁻³ (Серегин, Попова, 2012а).

Следует отметить, что максимального обилия ММЗП достигает в августе–сентябре при массовом развитии копеподы-вселенца *O. davisae*, когда ее относительная доля в прибрежных акваториях может достигать 90 % и более от общей численности (Серегин, Попова, 2016). В частности, в августе 2011 г. на обширной акватории, включающей прибрежье Крыма, Каркинитский залив и открытые воды северо-западной части Черного моря (СЗЧМ), общая численность ММЗП в верхнем 15-метровом слое варьировала от ~14.0 тыс. экз. м⁻³ в водах ЮБК до более 465 тыс. экз. м⁻³ в удаленной от устья части Каркинитского залива. Для открытых вод СЗЧМ количество микрометазоопланктона в поверхностном слое характеризовалось значениями 125–290 тыс. экз. м⁻³ (Серегин, Попова, 2015). Анализ этих материалов показал, что вклад *O. davisae* в общее обилие и в численность копепод в наиболее продуктивных водах достигал 47–90 и 60–95 % соответственно.

Отсутствие *O. davisae* в составе весеннего ММЗП определяется теплолюбивым статусом этого вида. Известно, что популяция вселенца переживает зимний сезон в Черном море на стадии оплодотворенных самок при сниженной двигательной активности и потреблении кислорода (Svetlichny et al., 2016). Активный рост численности популяции *O. davisae* начинается в конце мая–начале июня по достижению температуры воды 18–20 °С. Высокая численность и, соответственно, существенный вклад ее в общее обилие ММЗП наблюдаются не ранее середины июня как в исконных местах обитания (Uye, Sano, 1995), так и в Черном море (Серегин, Попова,

2015; Seregin, Popova, 2016; Svetlichny et al., 2016; Серегин, Попова, 2017). При этом более ранний подъем численности, как это наблюдалось в 2010, 2012 и 2013 гг., определялся в эти годы ранним прогреванием воды до 18 °С. В наиболее теплые годы, когда сумма активных температур для этого вида превышала 3400°, наблюдались максимумы межгодовых вариаций обилия (Seregin, Popova, 2016).

Картина пространственного распределения численности ММЗП повторяет в целом закономерности предыдущих наблюдений, выполненных в крымских водах Черного моря в летние периоды 2010-2013 гг. (рейсы НИС «Профессор Водяницкий» №№ 64, 70, 75) (Серегин, Попова, 2012б, 2015). Типичные черты распределения сводятся к следующим: максимумы численности наблюдались в акваториях западного побережья – Каламитского и Каркинитского заливов; более низкие значения обилия характерны для юго-восточных и прикерченских акваторий; наименее продуктивные воды – в побережье ЮБК. Причем в среднем для верхнего слоя вод распределение метазойного микрозоопланктона повторяло закономерности распределения численности бактериопланктона и отражало, таким образом, уровень трофности различных акваторий крымского побережья (Серегин, Попова, 2012б). Подобное распределение продуктивных зон крымского побережья закономерно. Воды Каркинитского и Каламитского заливов являются частью шельфовых вод СЗЧМ – наиболее продуктивной части моря, находящейся под сильным влиянием речного стока полноводных рек, выносящих в море большое количество аллохтонной органики и биогенов. Они повышают трофность этих акваторий и влияют на степень развития всех компонентов планктонной экосистемы. Юго-восточное побережье характеризуется незначительным объемом речного стока; здесь

сказывается воздействие более пресных и продуктивных азовоморских вод, поступающих через Керченский пролив и распространяющихся в западном направлении с основным черноморским течением. Воды ЮБК наименее трофные. Все сказанное подтверждается оценками состояния этих акваторий с помощью интегрального показателя эвтрофикации E-TRIX. Этот индекс учитывает как концентрации в воде основных биогенных элементов, так и уровень наличной биомассы фитопланктона. В среднем по шельфовой части СЗЧМ показатель трофности вод по этому критерию находился на грани «высокого» и «среднего» уровня ($E-TRIX = 5.0$), а в районе южного берега Крыма наблюдался низкий уровень трофности (индекс $E-TRIX = 2.8$) (Український, 2011).

При анализе вертикального распределения ММЗП весной 2016 г. обращает на себя внимание изменение в распределении отдельных видов копепоид по сравнению с ранее полученными в летний период данными. В частности, для *O. similis* в весенний период – при общей тенденции формировать максимумы численности в средних и придонных слоях с температурой 9.5-10.3 °С – заметные ее концентрации наблюдались и в подповерхностных слоях при 10.9-11.0 °С (рис. 3). Этого не происходило в теплый период года (например, в июле 2013 г.), когда этот вид ойтены полностью отсутствовал в поверхностных водах и обитал изредка в слое термоклина, а значительно чаще – под ним, включая придонные слои (Серегин, 2013; Серегин, Попова, 2016б). Это вполне согласуется с «холодолюбивым» статусом этого вида, распространенного в арктических и умеренных водах северных и южных широт Мирового океана (Wend-Heckmann, 2013), а в Черном море обитающего в летнее время в холодных слоях открытых зон моря при температу-

ре около 8 °C (Ковалев, 1967). Подобная же картина изменений наблюдалась в распределении *P. elongatus* также холодолюбивого вида копепод. Представители рода *Acartia* предпочитали самые верхние горизонты водного столба. Обычной для летнего периода зависимости вертикального распределения ММЗП от соленостно-температурной структуры водного столба не прослеживалось. Вероятно, это связано с еще незначительным прогревом верхнего перемешанного слоя вод и соответственно слаборазвитой температурной стратификацией, которая в теплый период года определяет существенные различия в распределении холодо- и теплолюбивых видов.

Заключение

Результаты исследования свидетельствуют, что видовая структура метазойного микрозоопланктона в прибрежных водах Крыма в середине весеннего периода (вторая половина апреля) характеризуется относительной бедностью и представлена в основном рачковой фракцией, составляющей по разным акваториям от 75 до 97 % общей численности. Представители тепловодного зоопланктонного комплекса азово-черноморских вод в этот период или малочисленны (*C. ponticus*, *P. polyphemoides*, *P. mediterranea*), или не встречаются совсем (*O. davisae*, *P. avirostris*, *P. tergestina*). Основу численности в черноморских водах составляют науплиусы эвритермных и холодолюбивых копепод, а в азовоморских – науплиусы усногих раков, велигеры двусторчатых моллюсков и личинки полихет. При этом общее обилие ММЗП сопоставимо с раннелетним состоянием микрозоопланктонного сообщества в черноморских акваториях, когда популяция копеподы-вселенца

O. davisae еще не достигает существенного развития. Количество ММЗП в Азовском море было почти на порядок выше: в среднем, 105.7 ± 80.8 тыс. экз. м⁻³ на поверхности и 57.5 ± 27.3 тыс. экз. м⁻³ в придонном слое.

Оценка пространственного распределения ММЗП в черноморском побережье Крыма подтвердила полученные закономерности предыдущих наблюдений в разные сезоны года: наибольшее обилие характерно для шельфа северо-западной части моря, умеренно высокое – для юго-восточного побережья и наименьшее обилие ММЗП наблюдается в водах ЮБК.

Для вертикального распределения ММЗП в весенний период – в отсутствие развитой стратификации водного столба и невысокой температуры воды – отмечено более поверхностное распределение ряда холодноводных видов (*O. similis*, *P. elongatus*), чем в летний период. Велигеры моллюсков определяли максимумы численности в средних и нижних слоях водного столба мелководных зон; в более глубоких акваториях преобладали копеподы, в зависимости от видовой принадлежности определявшие локальные максимумы в различных слоях.

Полученные данные отвечают поставленной цели работы: получению современных данных о качественном и количественном составе метазойного микрозоопланктона на обширных акваториях Черного и Азовского морей, прилегающих к Крымскому полуострову. Представляется необходимым продолжение исследований данной группы зоопланктона, в том числе в сезонном аспекте. В частности, в литературе отсутствуют сведения о ранневесеннем и осеннем состоянии этого ключевого компонента планктонного сообщества азово-черноморских акваторий.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИМБИ РАН им. А.О. Ковалевского по направлению 1 «Изучение механизмов адаптации, трансформации и эволюции морских и океанических экосистем в условиях климатических изменений и антропогенного влияния» (№ 1001-2014-0013).

Список литературы

Заика В.Е., Морякова В.К., Островская Н.А., Цалкина А.В. (1976) *Распределение морского микрозоопланктона*. Киев, Наукова думка, 92 с. [Zaika V.E., Moryakova V.K., Ostrovskaya N.A., Tsalkina A.V. (1976) *Distribution of marine microzooplankton*. Kiev, Naukova dumka, 92 p. (in Russian)]

Заремба Н.Б. (2017) Зоопланктон юго-восточной части Керченского полуострова в летне-осенний период 2015 г. *Труды ЮгНИРО*, 54(1): 77–81 [Zaremba N.B. (2017) Zooplankton of the south-eastern part of the Kerch Peninsula in the summer and autumn seasons of 2015. *Trudy YugNIRO*, 54(1): 77–81 (in Russian)]

Климова Т.Н., Вдодович И.В. (2011) Численность, видовое разнообразие ихтиопланктона и особенности питания личинок рыб в прибрежной акватории юго-западного Крыма в 2000–2009 гг. *Промысловые биоресурсы Черного и Азовского морей*. Еремеев В.Н., Гаевская А.В., Шульман Г.Е., Загородняя Ю.А. (ред.) Севастополь, ИнБЮМ НАНУ, с. 101–116 [Klimova T.N., Vdodovich I.V. (2011) Abundance, species diversity of ichthyoplankton and feeding habits of fish larvae in the coastal waters of southwest Crimea in 2000–2009. *Commercial bioresources of the Black and Azov Seas*. Eremeev V.N., Gaevskaya A.V., Shulman G.E., Zagorodnyaya Yu.A. (eds.) Sevastopol, IBSS NASU, p. 101–116 (in Russian)]

Климова Т.Н., Вдодович И.В., Игнатьев С.М., Серегин С.А., Кузьминова Н.С., Пустоварова Н.И., Попова Е.В. (2017) Состояние ихтиопланктона в устьевой части Севастопольской бухты (Черное море). *Журнал Сибирского федерального университета. Биология*, 10(1): 74–86 [Klimova T.N., Vdodovich I.V., Ignatiev S.M., Seregin S.A., Kuzminova N.S., Pustovarova N.I., Popova E.V. (2017) The ichthyoplankton state in the Sevastopol bay mouth (Black Sea). *Journal of Siberian Federal University. Biology*, 10(1): 74–86 (in Russian)]

Ковалев А.В. (1967) Размерный состав планктонных Copepoda на разных глубинах Черного моря. *Гидробиологический журнал*, 3: 74–77 [Kovalev A.V. (1967) Size composition of planktonic Copepoda at the different depths of the Black Sea. *Hydrobiological Journal* [Gidrobiologicheskij zhurnal], 3: 74–77 (in Russian)]

Ковалев А.В. (1980) Орудия и метод суммарного учета морского микро- и мезозоопланктона. *Экология моря*, 3: 61–64 [Kovalev A.V. (1980) Instruments and method for total registration of sea micro and mesozooplankton. *Marine Ecology* [Ekologiya morya], 3: 61–64 (in Russian)]

Мельников В.В., Климова Т.Н., Игнатьев С.М., Вдодович И.В., Попова Е.В., Серегин С.А. (2015) Состояние ихтио-, микрозоо- и макропланктонного комплексов Черного моря в районе Крымского полуострова в июле 2013 г. *Системы контроля окружающей среды*, 1(21): 94–102 [Melnikov V.V., Klimova T.N., Ignat'ev S.M., Vdodovich I.V., Popova E.V., Seregin S.A. (2015) Conditions of the ichthyo-, microzoo- and macroplanctonic complexes in the Crimean peninsula area in the July 2013. *Monitoring System of Environment* [Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy], 1(21): 94–102 (in Russian)]

Определитель фауны Черного и Азовского морей в 3 томах. Т. 2. Свободноживущие беспозвоночные. Ракообразные. (1969) Киев, Наукова думка, 536 с. [*Identification guide to the fauna of the Black and Azov Seas in 3 Vol. Vol. 2. Free living invertebrates. Crustaceans.* (1969) Kiev, Naukova dumka, 536 p. (in Russian)]

Сажина Л.И. (1985) *Науплиусы массовых видов пелагических копепоид мирового океана.* Киев, Наукова думка, 238 с. [Sajina L.I. (1985) *Nauplius of worlds ocean mass pelagic Copepod species.* Kiev, Naukova dumka, 238 p. (in Russian)]

Свиштунова Л.Д. (2013) Новый вселенец в зоопланктоне Азовского моря. *Вестник Южного научного центра*, 9(4): 104–107 [Svistunova L.D. (2013) New invader (alien) species in the Sea of Azov zooplankton. *Bulletin of the Southern Scientific Center* [Vestnik yuzhnogo nauchnogo centra], 9(4): 104–107 (in Russian)]

Серегин С.А. (2013) Метазоный микрозоопланктон. *Геологические, геоэкологические, гидроакустические, гидроэкологические исследования шельфа и континентального склона украинского сектора Черного моря.* Митропольский А.Ю. (ред.) Киев, ИГН НАН Украины, с. 107–111 [Seregin S.A. (2013) Metazoan microzooplankton. *Geological, geoecological, hydroacoustic, hydroecological studies of the shelf and continental slope of the Ukrainian sector of the Black Sea.* Mitropolskiy A.Yu. (ed.) Kiev, IGN NAS of Ukraine, p. 107–111 (in Russian)]

Серегин С.А., Попова Е.В. (2012а) Численность и видовой состав метазойного микрозоопланктона в прибрежье Севастополя: 2009 – 2012. *Рыбное хозяйство Украины*, 6 (83): 3–9 [Seregin S.A., Popova E.V. (2012a) Abundance and species composition of metazoan microzooplankton in the coastal zone of Sevastopol: 2009 – 2012. *Fish Industry of Ukraine* [Rybnoe hozyaystvo Ukrainy], 6(83): 3–9 (in Russian)]

Серегин С.А., Попова Е.В. (2012б) Бактериопланктон и метазойный микрозоопланктон в водах Черного моря у побережья Крыма летом 2010 г. *Морской экологический журнал*, 11(2): 65–74 [Seregin S.A., Popova E.V. (2012b) Bacterioplankton and metazoan microzooplankton in the Black Sea waters near Crimea coast in summer 2010. *Marine Ecological Journal* [Morskoj ekologicheskij zhurnal], 11(2): 65–74 (in Russian)]

Серегин С.А., Попова Е.В. (2015) Метазоный микрозоопланктон северочерноморских вод: обилие и состав в летний период. *Международный Научный Институт «Educatio»*, 3(6): 166–171 [Seregin S.A., Popova E.V. (2015) Metazoan microzooplankton of the northern Black Sea waters: abundance and composition in summer. *International Scientific Institute “Educatio”* [Mezhdunarodnyj Nauchnyj Institut “Educatio”], 3(6): 166–171 (in Russian)]

Серегин С.А., Попова Е.В. (2016а) Микророметазоопланктон черноморских вод Крыма: обилие, видовое разнообразие, тенденции изменений. *Морские биологические исследования: достижения и перспективы. Том 2.* Севастополь, ЭКОСИ-Гидрофизика, с. 426–429 [Seregin S.A., Popova E.V. (2016a) Micrometazooplankton of the Black Sea waters of Crimea: abundance, species diversity, trends of changes. *Marine biological research: achievements and prospects. Vol. 2.* Sevastopol, ECOSY-Hydrophysics, p. 426–429 (in Russian)]

Серегин С.А., Попова Е.В. (2016б) Видовой состав и численность метазойного микрозоопланктона в северо-восточной части Черного моря летом 2013 г. *Морской биологический журнал*, 1(3): 35–41 [Seregin S.A., Popova E.V. (2016b) Species composition and abundance of metazoan

microzooplankton in the north-eastern waters of the Black Sea in summer 2013. *Marine Biological Journal*, 1(3): 35–41 (in Russian)]

Серегин С.А., Попова Е.В. (2017) Короткопериодная изменчивость метазойного микрозоопланктона в прибрежье Черного моря: закономерности и определяющие факторы. *Морской биологический журнал*, 2(1): 56–65 [Seregin S.A., Popova E.V. (2017) Short-term variation of metazoan microzooplankton in a coastal area of the Black Sea: the regularities and determining factors. *Marine Biological Journal*, 2(1): 56–65 (in Russian)]

Український В.В. (ред.) (2011) НДР “Дослідження впливу кліматичних та антропогенних факторів на процеси евтрофікації вод північно-західного шельфу Чорного моря”. *Звіт про науково-технічну діяльність НДУ «Український Науковий Центр Екології Моря» за 2010 рік*. Одеса, с. 15–17 [Ukrainskiy V.V. (ed.) (2011) Research Report “Investigation of the influence of climatic and anthropogenic factors on the eutrophication processes of the Black Sea north-western shelf waters”. *Report on scientific and technical activities of NDU “Ukrainian Scientific Center for Ecology of the Sea” for 2010*. Odessa, p. 15–17 (in Ukrainian)]

Almeda R., Calbet A., Alcaraz M., Saiz E., Trepas I., Arin L., Movilla J.I., Salo V. (2011) Trophic role and carbon budget of metazoan microplankton in northwest Mediterranean coastal waters. *Limnology and Oceanography*, 56(1): 415–430

Altukhov D.A., Gubanova A.D., Mukhanov V.S. (2014) New invasive copepod *Oithona davisae* Ferrari and Orsi, 1984: seasonal dynamics in Sevastopol Bay and expansion along the Black Sea coasts. *Marine Ecology*, 35 (Suppl. 1): 28–34

Gubanova A.D. (2000) Occurrence of *Acartia tonsa* Dana in the Black Sea. Was it introduced from the Mediterranean? *Mediterranean Marine Science*, 1(1): 105–110

ICES Zooplankton methodology manual (2000) Harris R.P., Wiebe P.H., Lenz J., Skjoldal H.R., Huntley M. (eds.) Bodmin, Cornwall, Academic Press, 684 p.

Mihneva V., Stefanova K. (2013) The non-native copepod *Oithona davisae* (Ferrari F.D. and Orsi, 1984) in the Western Black Sea: seasonal and annual abundance variability. *BioInvasions Records*, 2(2): 119–124

Paffenhöfer G.A., Stearns D.E. (1988) Why is *Acartia tonsa* (Copepoda: Calanoida) restricted to nearshore environments? *Marine Ecology Progress Series*, 42(1): 33–38

Roff J.C., Turner J.T., Webber M.K., Hopcroft R.R. (1995) Bacterivory by tropical copepod nauplii: extent and possible significance. *Aquatic Microbial Ecology*, 9: 165–175

Selifonova Zh.P. (2011) *Oithona brevicornis* Giesbrecht (Copepoda: Cyclopoida), invader into the Black Sea and in the Sea of Azov. *Russian Journal of Biological Invasions*, 2(2-3): 227–232

Seregin S.A., Popova E.V. (2016) Long-term dynamics of abundance of the copepod-invader, *Oithona davisae*, in the coastal waters of the Black Sea. *Russian Journal of Biological Invasions*, 7(4): 374–382

Sorokin Yu.I., Kopylov A.I., Mamaeva N.V. (1985) Abundance and dynamics of microplankton in the central tropical Indian Ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 24(1-2): 27–41

Svetlichny L., Hubareva E., Khanaychenko A., Gubanova A., Altukhov D., Besiktepe S. (2016) Adaptive strategy of thermophilic *Oithona davisae* in the cold Black Sea environment. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 16(1): 77–90

Tester P.A., Turner J.T. (1991) Why is *Acartia tonsa* restricted to estuarine habitats? *Bulletin of the Plankton Society of Japan*: 603–611

Uye Sh., Sano K. (1995) Seasonal reproductive biology of the small cyclopoid copepod *Oithona davisae* in a temperate eutrophic inlet. *Marine Ecology Progress Series*, 118: 121–128

Wend-Heckmann B. (2013) *Oithona similis* (Copepoda: Cyclopoida) – a cosmopolitan species? Dissertation. Zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Naturwissenschaften – Dr. rer. Nat-Am Fachbereich Biologie/Chemie der Universität Bremen.